

CARACTERÍSTICAS DE LA TENDENCIA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ANUAL EN LA CUENCA DEL DUERO

M^a Dolores MANSO ORGAZ¹, Marco VENTURA², Guilherme CHAGAS¹, Ana RODRIGUES¹,
Luís CARVALHEIRO¹

¹*Depto. de Física. Universidade de Aveiro*

² *Critical software - Lisboa*

Maria.dolores@ua.pt, mventura@criticalsoftware.com, goc@ua.pt, ana.rodrigues@ua.pt,
lcarvalho@ua.pt

RESUMEN

Este trabajo analiza las series temporales (1970 -2010), de evapotranspiración potencial de Penman-Monteith (PET), estimada en 19 estaciones de la cuenca del Duero (España y Portugal), en su conjunto y para cada estación. El análisis muestra que para el conjunto de la cuenca del Duero, la PET no ha disminuido ni aumentado de forma significativa, en general, en todos los meses excepto en el mes de junio, donde la evapotranspiración aumentó +3.2 mm/mes/década significativas al nivel de 95%. A nivel regional se ha encontrado un moderado aumento de evapotranspiración anual al centro y al este, mientras que en la parte occidental la PET anual está disminuyendo de forma significativa al 95%. La insolación parece estar más relacionada con la región central, mientras que el viento, humedad relativa y la temperatura son los principales factores en las regiones occidentales y norte. Si en la precipitación observada y en la PET las tendencias permanecen sin cambios, las tendencias futuras de producción agrícola, particularmente en el centro y este de la cuenca del Duero, tendrá que hacer frente a la disminución de la disponibilidad de agua en el período de crecimiento vegetativo.

Palabras clave: análisis de tendencias; variabilidad climática, evapotranspiración potencial; cuenca del Duero.

ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the Penman-Monteith Potential Evapotranspiration (PET) during 1970-2010 for the Douro Basin (Spain and Portugal). A network of 19 stations were used for the PET evaluation, which proved to have little variation when assessed for the entire region, except for the month of June that gained 3.2mm per decade (95% confidence level). Regionally, a moderate increase on PET has been characterized for the central and east areas, whereas in areas westward a significant decrease (95% confidence level) is observed. The sunshine is mostly confined to the central region, while wind, relative humidity and temperature are the main factors in western and northern regions. If precipitation patterns in PET and tendencies remain unaltered, future agriculture production, especially in the center and eastern regions of the Douro Basin, will have reduced water available for irrigation during the vegetative growth stage.

Key words: tendencies analysis; climate variability; potential evapotranspiration; Douro Basin.

2. INTRODUCCIÓN

Por un lado, en el contexto climático y fisiográfico de la Península Ibérica, los recursos hídricos superficiales, su cuantificación, disponibilidad y uso plantean una cuestión medioambiental de primer orden. Por otro lado, grandes y relativamente rápidos cambios en el ciclo hidrológico pueden dar lugar a consecuencias catastróficas. De mayor importancia práctica es el efecto que los cambios en las tasas de PET tendrán sobre los ecosistemas terrestres en general, y en la agricultura en particular. Esto es cierto tanto para regiones demasiado pobladas como Europa, donde la temperatura es probable que aumente más rápido que la media mundial, como en regiones agrícolas donde los cambios asociados a la precipitación, en función de la distribución espacial y temporal de ambas tendencias, la disponibilidad de agua regionalmente podría variar en cualquier dirección. (*Axel Thomas, 2000*). En este sentido, es importante monitorizar y comprender la variabilidad en los aspectos del ciclo hidrológico a nivel regional utilizando observaciones y estimaciones. (*Stanhil G. y Möller M., 2008*).

La evapotranspiración potencial (PET) es el elemento climático más importante con la temperatura y la precipitación. Juega un papel crucial en los flujos de calor y de masa del sistema atmosférico global y es un tema de investigación clave en los programas científicos internacionales (*Ehlers y Krafft, 1996*). Los cambios en la PET afectan a las precipitaciones, así como los regímenes hidrológicos, y también tienen un impacto directo en la producción de cultivos a través de cambios en el balance hídrico agroecológico. El análisis de los cambios de los tipos de PET en el pasado es importante para entender la influencia de cambios climáticos presentes en los presupuestos de la humedad del suelo y sus consecuencias para los ecosistemas terrestres. Pero la PET es difícil de medir directamente, y en la mayoría de los casos se estima a partir de datos meteorológicos. El método de Penman-Monteith es considerado por muchos investigadores como el método más completo, pues requiere datos sobre la radiación, temperatura, humedad y vientos. Por todo esto, en este trabajo analizamos los cambios de tendencia de la PET que sucedieron en el pasado para entender lo que sucederá en el futuro y lo organizamos de la siguiente forma: la estimación de las series temporales de la PET según describimos en la sección 3. Estudiamos el comportamiento temporal medio de la cuenca del Duero (CD), y su relación a nivel regional durante los meses de mayor cambio en la sección 4. En la sección 5, analizamos las variables que más influyen en la PET. Terminando con las conclusiones.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos utilizados en este trabajo proceden de los institutos nacionales de Meteorología de España y Portugal incluyendo algunas estaciones en el entorno de la cuenca del Duero, desde enero de 1970 a diciembre de 2010. Fueron utilizadas las series mensuales completas de: temperatura, viento, humedad relativa e insolación, que, contenían menos del 5% de meses en falta. Los datos en falta fueron rellenados utilizando un método de interpolación similar al propuesto por (*Peterson y Easterling, 1994*). De esta forma, conseguimos completar 19 estaciones. Las estaciones consideradas están representadas en la figura 1-a. Se encuentran localizadas entre los 93 m y los 1.143 m.s.n.m. y la variación espacial de la PET anual en la figura 1-b. con los valores máximos de PET en el centro y los mínimos al norte y al oeste.

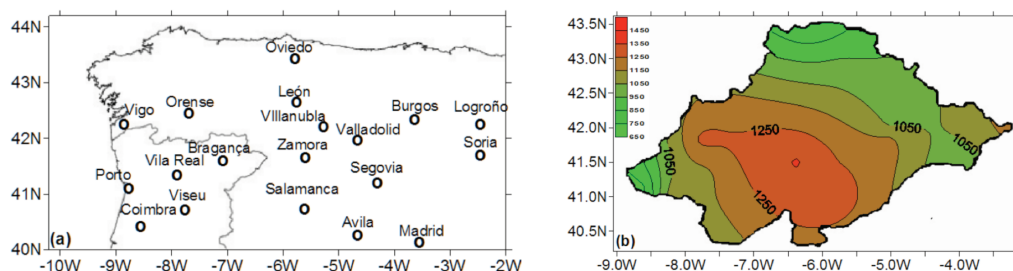


FIG. 1-A: Localización de los observatorios usados en este estudio; b: Distribución de los valores medios anuales de la PET (mm/año), sobre la cuenca del Duero en el periodo de 1970-2010.

Para estimar la evapotranspiración potencial (PET), fue utilizada la expresión habitual de Penman-Monteith, ecuación 1, descrita por (Manso, MD, 1991)

$$(1) \quad E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{Q}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

Δ es la tangente a la curva de tensión máxima de vapor de agua a la temperatura T ; Q es la radiación neta calculada a partir de la insolación; L es el calor latente (es conocida, existe en tablas); γ es la constante psicométrica. Examinando la expresión (1), vemos que el término energético tiene mayor influencia en la evaporación, que el término aerodinámico, pues el valor de la razón Δ/γ , aumenta rápidamente con la temperatura del aire, mientras que el valor $\gamma/\Delta + \gamma$, disminuye con la temperatura del aire. Así, el rendimiento de la conversión de energía consumida en la evaporación aumenta con la temperatura, en cuanto el poder evaporante del aire, E_a , disminuye.

Como se verifica, la ecuación (1) está compuesta por dos términos: el término energético, asociado a Q , y el término aerodinámico, asociado a E_a . Los cálculos fueron hechos con un programa Visual Basic (VB). Para estimar las tendencias temporales de las PET anuales y mensuales, se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall (Hollander y Wolf, 1999), calculándose el coeficiente de correlación t-b de Kendall utilizando la mediana de los valores obtenidos anualmente y a través de la recta de regresión de las series.

La CD se diferencia del resto de las cuencas hidrográficas de la Península Ibérica por su tamaño de 98.170 km² (Manso, M.D., 1991,) en cuanto el río principal es el tercero mayor de la Península Ibérica. La evapotranspiración potencial (PET), media, durante estos 41 años, osciló entre 26 mm en enero a 196 mm agosto. Con un patrón gaussiano al igual que la temperatura y la insolación, siendo estos dos factores condicionantes para la PET. A lo largo de todos los años los valores anuales oscilaron entre 900 y 1.180 mm, con una distribución media mensual como indica la figura 2, con un patrón de valores máximos en el Centro y otro secundario al este, entre estos dos máximos existe una vaguada que conecta con las dos áreas mínimas del norte y del SE.

4. CAMBIOS DE LA PET 1970-2010.

4.1. Todas las series de la CD

La tabla 1, muestra la tendencia media mensual y anual del conjunto de todas las estaciones de la cuenca del Duero y el porcentaje de estaciones, mensuales y anuales, con tendencia significativa

al nivel del 95%. Así resulta, que en media, las tendencias de la PET en toda la CD son crecientes en los meses de marzo, mayo, junio y agosto; decreciente en los meses de invierno (diciembre, enero y febrero); y no existe tendencia en los meses de otoño y abril. El porcentaje de estaciones con tendencia significativa es superior al porcentaje de estaciones decrecientes en los meses de marzo a agosto (excepto abril). El valor de la tendencia media anual en la CD, es de +10.5 mm/mes/década. La tabla 1, también muestra que, es el mes de junio donde la PET está aumentando más, por este motivo será analizado, posteriormente y también vamos a analizar el comportamiento de un mes representativo de cada estación del año (aquel que a nivel global de toda la CD muestra mayor tendencia). Así, será examinada la variación temporal, espacial, anual, y mensual de los cambios de tendencia.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	AÑO
mm/mes/década	-0.5	-0.6	+0.8	0	+1.3	+3.2	0	+1.8	0	0	0	-0.2	+10.5
Decrecientes (%)	26	21	21	21	16	11	16	16	26	37	26	16	0
Crecientes (%)	16	21	26	21	21	16	26	32	26	37	36	16	5

TABLA 1: *Cambios de tendencia en las series mensuales y anual de la Pet (1970–2010).*

En la segunda fila están representados, los cambios por década de los promedios de todas las PET en la CD, referidos al mes o al año de la primera fila. En la tercera y cuarta fila están representados los respectivos porcentajes de estaciones con tendencia decreciente (creciente) significativas al 95%.

4.2. Cambios de la PET anual

Como decíamos, en media, las tendencias lineales de la PET anual aumentan de forma significativa al ritmo de 10.5 mm/mes/década. El porcentaje de estaciones anuales positivas (significativas), es del 5 % y las negativas es del 0%, tabla 1. Se observa en la figura 2.- a, la variación temporal media anual de la PET, donde se destacan los valores extremos, como el año 2005, con un valor récord de 1.181 mm. Este año es conocido como un año de sequía, que no solo afectó a las regiones semiáridas, sino, a amplios sectores de la geografía peninsular tradicionalmente conocida como la España húmeda (Serrano, 2004 y Machina et al, 2005). Como veremos más tarde, en la figura 8, la humedad relativa es una variable meteorológica que en la regresión múltiple se coloca en primera posición. Un segundo máximo se observa en 1989 con 1.148 mm. Los valores mínimos acumulados acontecieron en los años 1977 y 1997, respectivamente con precipitaciones superiores a la normal (1970-2010), en la CD (Anomalías de 201.5 mm y 196.7 mm, respectivamente).

La distribución espacial en la CD, del tau de Kendall, anual de la figura 2-b: muestra un patrón con dos áreas principales de mayor tendencia positiva, una situada al este y otra al centro, lo que significa, que las mayores tendencias anuales positivas se encuentran en estas dos regiones, ya que los mayores valores representan mayor correlación con la secuencia de años ascendentes desde 1970 a 2010 (el rango de tendencias es de ± 0.7). En consecuencia de esto, las regiones con líneas de trazos, representan tendencias negativas y se encuentran, en general al NW de la CD, siendo nueve el número de estaciones que revelan tendencias negativas. Alguna estaciones al norte de la CD, presentan cambios negativos, significativos al ritmo de -37.5 mm/año/década. Las zonas de tendencias positivas son más extensas. Podemos citar entorno a Salamanca con un cambio positivo de +54.3 mm/año/década.

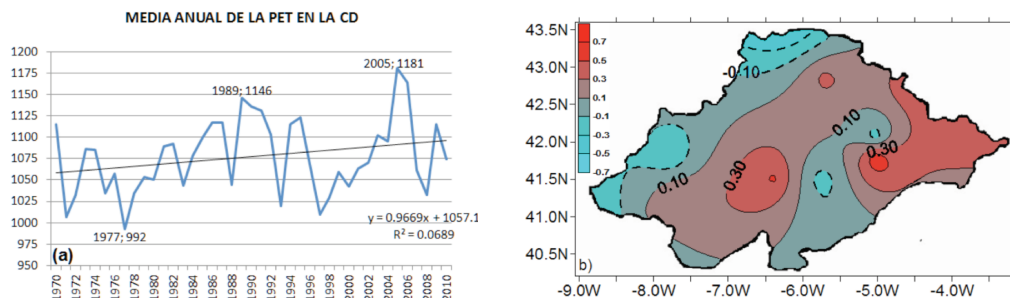


FIG. 2. A: Variación temporal de la media anual de la PET en la CD (1970-2010), línea azul. La línea de tendencia de los 41 años en negro; b: distribución espacial de la tau de Kendall de la media anual, referente al mismo periodo.

4.3. Cambios de la PET en febrero

Las tendencias decrecientes predominan durante los meses de invierno, con un porcentaje de estaciones con tendencia significativa de 63%, comparadas con el porcentaje de estaciones con tendencia creciente (53%). Sin embargo, esta diferencia se debe al mes de enero donde predominan las tendencias decrecientes, pues, diciembre y febrero tienen el mismo número de estaciones con tendencia, significativa, positiva que negativa. El ritmo de cambio de la media mensual de la PET en toda la CD es de -0.5 mm/mes/década en enero y de -0.6 mm/mes/década en febrero, por este motivo optamos por analizar la variación temporal del mes de febrero. Así, en la figura 3-a, representamos la variación temporal de los febreros, donde se observan tres máximos, 1973 (52.1 mm), 1989 (52.5 mm), y 2006 (49.4 mm), y dos ciclos de mínimos alrededor de 1978 y de 2000. La distribución espacial, en la figura 3-b, vemos, la tendencia negativa que se extiende desde el NW atravesando toda la CD con una faja estrecha hasta el SE. Las tendencias más intensas positivas se encuentran en la cabecera del río, con valores mayores de $+0.25$. La justificación para este patrón se debe principalmente a las variables meteorológicas: del viento, humedad relativa e insolación, como lo demuestra la figura 8, y a la configuración longitudinal de la cuenca que permite la penetración de los flujos dominantes del Atlántico, y al mismo tiempo, son alterados por la protección de las diferentes cadenas montañosas. En consecuencia, se forman fenómenos advectivos hacia el interior, que ayudan a la formación de precipitaciones, cuyos efectos se van mitigando por en el interior y al este de la CD. Por eso, los efectos de precipitación frontal, aquí, no son tan intensos (Caramelo y Manso 2007).

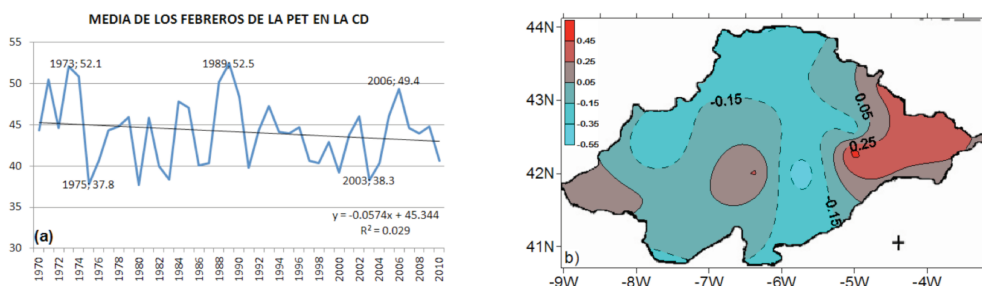


FIG. 3. A: Línea azul, la variación temporal de la media mensual de los febreros de la PET (mm), en la CD, 1970-2010. La línea de tendencia negativa en negro; b: distribución espacial de tau de Kendall de la media de febrero en la CD, referente al mismo periodo.

4.4. Cambios de la PET en marzo

Entre los meses de primavera analizamos el mes de marzo, por tener mayor porcentaje de estaciones con tendencia significativa, 26%, a pesar de presentar características muy parecidas a las de mayo. Se caracteriza porque la PET está aumentando y las sequías también, pues, según los registros en este periodo demuestran que las precipitaciones en marzo en la CD están disminuyendo, con una tasa de -0.7 mm/mes/década; las temperaturas están aumentando significativa al ritmo de $+0.7$ °C/mes/década; el aumento de la PET está demostrado en la variación temporal de la figura 4-a. Los factores meteorológicos que contribuyen para el aumento da la PET de la figura 8, son: viento, insolación y humedad relativa, en igual porcentaje, lo que significa que la insolación va ganando porcentaje en marzo y los efectos de la humedad relativa los atribuimos a los flujos del Atlántico y del Cantábrico donde su mitigación para el interior se ve disminuida, como muestran los trabajos de (*Caramelo y Manso, 2007*). Así resulta: una distribución de los cambios de tendencia en tres pequeñas áreas positivas al: E, S y SW; y otra distribución espacial con cambios decrecientes, principalmente al norte. Se trata, pues, de un patrón donde predominan las tendencias positivas. El rango de tendencias oscila ± 0.5 . Los valores altos de la PET están alrededor de los años 90, se deben a valores altos de insolación (7.6 horas/día), bajos en humedad relativa (61%) y viento suave (3.9 m/s), la precipitación alcanzó máximos en 2001 con 182.3 mm, destacando algunos observatorios como: Vila Real, Viseu, Porto, Ponferrada, etc., que superaron los 200 mm, por lo que la PET disminuyó significativamente.

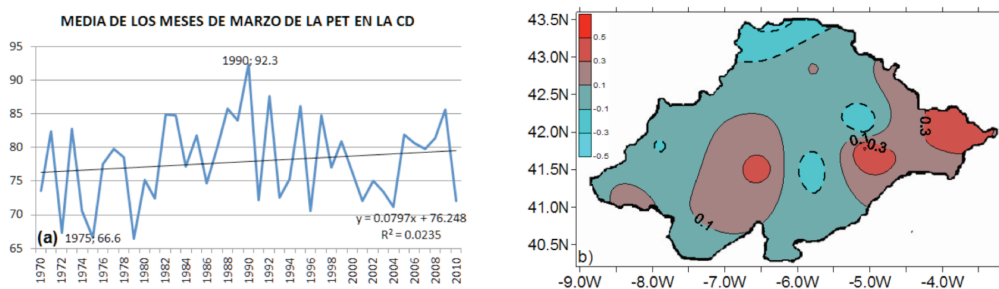


FIG. 4. A: Variación temporal de la media mensual en marzo de la PET (mm), en la CD de 1970-2010; línea azul. La línea de tendencia negativa en negro; b: distribución espacial de tau de Kendall marzo, referente al mismo periodo.

4.5. Cambios de la PET en junio

Durante los meses de verano el porcentaje de los cambios de tendencia positiva son: junio y agosto con (26%), y julio (32%). Optamos por analizar el mes de junio porque la media de los junios está aumentando al ritmo de 3.2 mm/mes /década (figura 5-a y la tabla1). Significa que existen más estaciones con tendencia positiva que en julio, pero no son significativas al 95%. La variación temporal del promedio de la PET en junio, muestra de, nuevo, el máximo en 2005 y ahora el 1986. El año 2005 fue considerado por (*Dutra et al, 2005*) como el año con la seca histórica más intensa en el periodo de 1945 a 2005. La distribución espacial de las tendencias de junio, figura 5-b, nos muestra que casi toda la CD está bajo un dominio de tendencias positivas que oscilan desde -0.65 a $+0.35$, siendo la insolación la variable meteorológica que contribuye con la posición de primer orden en la regresión múltiple de todas las estaciones individuales al nivel de significancia $> 95\%$, como veremos

en la figura 8. Las variables meteorológicas que más influncian en la PET son: la humedad relativa y la insolación. Estos dos factores juntos pueden ser el origen de las precipitaciones que se forman en el norte de la CD, de tipo tormentosas debidas al fuerte calentamiento de la tierra que conduce a los movimientos convectivos del aire, (*Caramelo, L y Manso, 2007*). Los registros históricos muestran que en este periodo la precipitación disminuye en la CD a un ritmo de -4.5 mm/mes/década (en el 16% de las estaciones), en cuanto la temperatura aumenta significativamente al ritmo de $+0.8$ °C/mes/década (en el 100% de las estaciones).

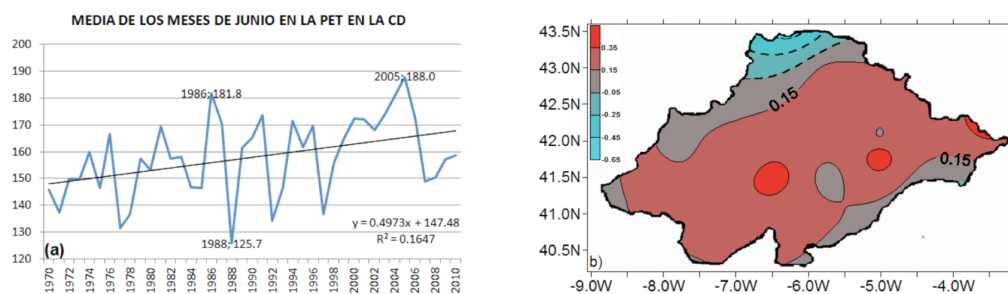


FIG. 5. A: Variación temporal de la media mensual de junio de la PET en la CD; línea azul. La línea de tendencia de los 41 años en negro; b: distribución espacial de la tau de Kendall de la media anual de junio, referente al mismo periodo.

4.6. Cambios de la PET en el mes de octubre

El otoño está marcado por la ausencia de tendencia a nivel global de toda la CD y a nivel regional tiene el mismo número de estaciones con tendencia positiva significativa que de negativa. La variación temporal del mes de octubre muestra dos picos en el año 1989 y 2006, años, que como vimos anteriormente, ya se hicieron notar en el mes de febrero, por lo que estos años la PET, fueron superiores a la media en el otoño y en el invierno. En la distribución espacial de las tendencias del mes de octubre de la figura 6-b, se observa un patrón semejante al patrón de febrero y marzo, solo que ahora con un área más extensa de tendencias positivas en la parte este. Las tendencias en la CD oscilan entre: $+0.35$ y -0.45 , este rango es inferior a los de febrero y marzo. Como ejemplo podemos decir que en Bragança la PET está disminuyendo en los meses de octubre al ritmo de -3.8 mm/mes/década y en Soria está aumentando a ritmo de $+7.3$ mm/mes/década. Las variables meteorológicas que más influncian en la PET de octubre son: el viento, humedad relativa y la insolación.

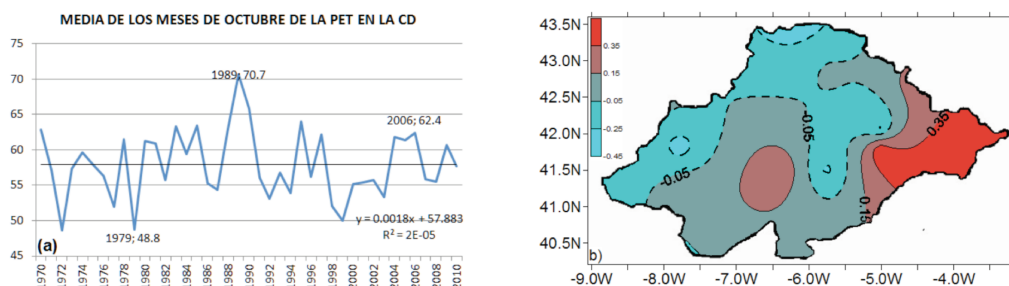


FIG. 6. A: Variación temporal de la media mensual de octubre de la PET en la CD; (línea azul); la línea de tendencia de los 41 años en negro; b: Distribución espacial de la tau de kendall de la media de los octubres, referente al mismo periodo.

4.7. Relación con la altitud

Decimos que, algunas de las razones de la variabilidad regional de la PET en la CD era afectada por la configuración longitudinal de la CD, con exposición directa a los flujos dominantes del Atlántico que se iban modificando en su transcurso, otra de las razones era la influencia de los flujos del Cantábrico que ya entran modificados por efecto Föhn en la CD. Podemos pensar que podrá existir alguna razón más, como puede ser la relación de la PET con la altura, pues la CD tiene una orografía bastante particular, como lo demuestran las diferentes altitudes donde están situados los observatorios, una vez que estas oscilan entre los 95 m hasta los 1.143 m, por lo que, pensamos que debería existir alguna relación entre la tendencia de los meses analizados y la altitud. Así resultaron las figuras: 7-a y 7-b. Su representación evidencia alguna relación, ya que, la tendencia aumenta con la altura de la estación y las estaciones más bajas tienen tendencia negativa. Son precisamente las estaciones de la parte occidental y norte de la CD como Oporto, Coímbra, Logroño, Oviedo, Vigo, y las de mayor tendencia son las del centro y este y si observamos para el año y el mes de marzo, vemos que son más altos los valores de las tendencias que en los restantes meses.

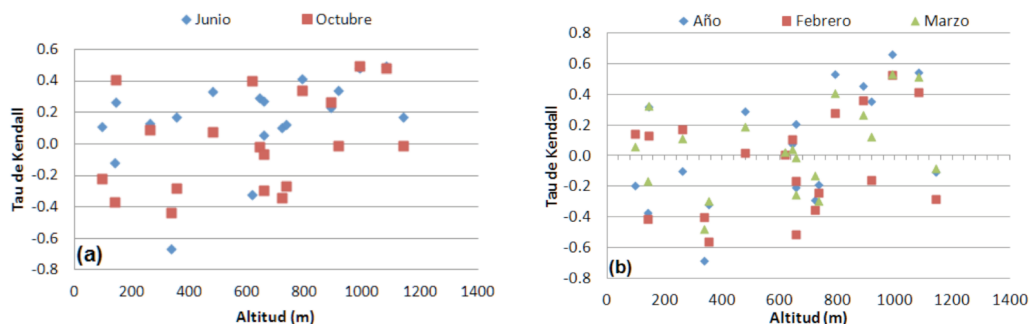


FIG. 7: Tendencias de la PET versus altitud para los cuatro situaciones estudiadas a) y b)

5. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LOS CAMBIOS

A pesar del aumento general de las temperaturas en la CD ($+0.47\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mes}/\text{década}$), ha habido una tendencia decreciente en la PET en algunas regiones de la CD, donde las anomalías regionales persisten. Con el fin de identificar aquellas variables meteorológicas que contribuyen a este cambio en la PET, se realizó una regresión múltiple que se llevó a cabo paso a paso con la temperatura media, la humedad relativa, la insolación y velocidad del viento (como variables independientes), en todas y en cada una de las estaciones; la media anual y mensual de: febrero, marzo, junio, octubre. Los resultados están representados en la figura 8, donde los números inferiores del eje de las abscisas corresponden a la identificación de la posición del coeficiente de regresión, de acuerdo con su contribución de varianza individual en la ecuación de regresión. Los coeficientes de regresión son significativos al nivel de $>99\%$.

Sobre una base anual, el viento parece ser la variable más importante en contribuir con los cambios en las tasas de PET, seguido de humedad relativa y el viento, figura 8, Las variaciones estacionales son evidentes, con la humedad relativa asumiendo cada vez más importancia dentro del curso del año, mientras que la temperatura muestra un curso inverso durante el mismo período de tiempo. En octubre la humedad relativa representa la mayor parte de la varianza de las ecuaciones de regresión individual. La insolación parece haber sido un factor importante en los valores decrecientes de la PET en febrero

en los últimos años y crecientes en junio y octubre. La temperatura, en cambio, parece haber desempeñado un papel insignificante. A la luz de lo expuesto, podemos concluir que el aumento de la PET está justificado por el aumento del término aerodinámico durante los meses antes y después del verano con mayor número de estaciones con tendencia significativa decreciente situadas principalmente en el N y NW de la CD. La temperatura está posicionada en tercer lugar en la regresión múltiple pero contribuye en la mayoría de las estaciones (>45%), significativas al nivel de 99%, aunque en el promedio anual de la CD solo esté posicionada en primer lugar en el 10% de las estaciones. El centro, con predominio del factor energético en el mes de junio por ser el factor que más influye en la PET, lo representan las estaciones de: Ávila, Burgos, Logroño, Orense, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid. Vila Real y Zamora. El factor aerodinámico lo representan los extremos de la CD, con las estaciones de: Bragança, Coímbra, León, Madrid, Oporto, Oviedo, Vigo, Villa Nubla, Viseu.

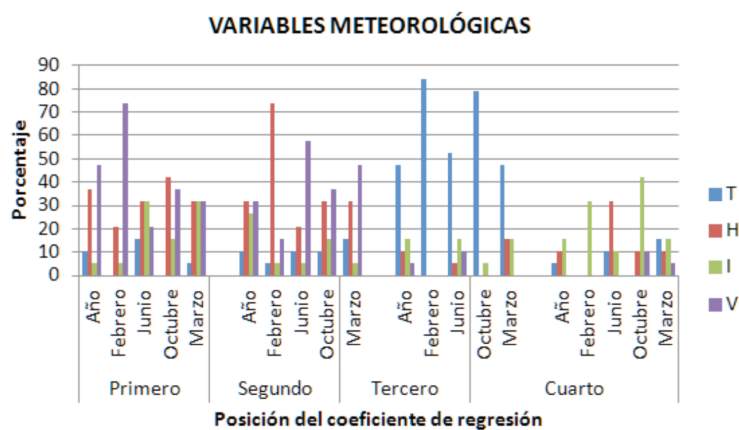


FIG. 8: Ocurrencias de las variables meteorológicas ordenadas de mayor variancia para las series: anual, febreros, junios, y octubre al nivel de 99%

6. CONCLUSIONES

A partir de las series temporales mensuales de: temperatura, humedad relativa, insolación y viento, estimamos: la base de datos mensuales y anuales de evapotranspiración potencial (PET), por el método de Penman-Monteith, y las correspondientes tendencias para todas y cada una de las 19 estaciones de la CD, mensuales y anuales en el periodo de 1970-2010, concluyendo que:

A nivel global, el promedio anual en toda la CD la PET está aumentando con una tasa de 10.5 mm/año/década, pero a nivel regional encontramos que las tendencias oscilan entre ± 7 . El norte es la región donde la PET está disminuyendo más, al ritmo de +37.5 mm/año/década. En cuanto que en otras regiones como el entorno de Salamanca la PET anual está aumentando con una tasa +54.6 mm/año/década. La variación temporal de la PET anual muestra como picos significativos en el año 2005, año considerado como el más seco históricamente, y años de menor PET en el año 1989. También encontramos que la PET aumenta con la altura de la estación.

La variación mensual y regional evidencia que existen cambios crecientes y significativos al nivel del 95%, en los meses de marzo, mayo, junio, julio, agosto y noviembre, en la mayoría de las estaciones dentro de la CD, en cuanto que el mes de enero es significativamente, decreciente. En los

restantes meses el porcentaje de estaciones con tendencia, significativa, positiva y negativas es el mismo.

Los patrones de distribución de tendencia muestran tres pequeñas regiones con tendencia creciente: una en el centro que se extiende desde febrero hasta alcanzar su mayor extensión en junio y después se vuelve a reducir a una pequeña región alrededor de Salamanca en octubre; otra región al este de la CD que se mantiene siempre creciente y va intensificando hasta alcanzar su máxima tendencia en octubre; y la tercera región al oeste en febrero cubre a región occidental, en marzo se desplaza para el sur, disminuyendo de tamaño y en octubre desaparece. Una particularidad de estas tres regiones es que se unen en junio, resultando así todo el centro de la CD sumergido en una grande región con tendencia positiva. Las regiones con tendencia decreciente, más intensa, se localizan al norte y al oeste, principalmente en el patrón anual. La región norte se extiende y atraviesa la CD en febrero, después disminuye en extensión de nuevo al norte dejando algunas pequeñas áreas en el centro y casi desaparece en junio, después en octubre se extiende respetando las regiones positivas aisladas.

Las variables meteorológicas que más influyen en las series anuales y de febrero de la PET son: el viento y la humedad relativa, en cuanto que la insolación cobra mayor protagonismo en junio y marzo. La temperatura queda en la mayoría de los casos en tercera posición.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Axel, T. (2000). Spatial And Temporal Characteristics of Potential Evapotranspiration Trends Over China *Int. J. Climatol.* **27**: 327–339.
- Caramelo, L. y Manso Orgaz, M.D (2007). A Study of Precipitation Variability In The Duero Basin (Iberian Peninsula) *Int. J. Climatol.* **27**: 327–339.
- Dutra, E., P. Viterbo, and P. M. A. Miranda, (2008): ERA-40 reanalysis hydrological applications in the characterization of regional drought, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L19402, doi:10.1029/2008GL035381.
- Ehlers, E. and Krafft, T. (eds) (1996). *German Global Change Research*, National Committee on Global Change Research, Bonn, p. 128.
- Hollander, M. y D. Wolf. (1999). *Non-parametric Statistical Methods*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Machina, J. Navas, A. Domenech, S y Lopez-Vicente M. (2005). El Río Arlanza en cabecera: Evolución reciente y tendencias en condiciones de cambio global. Cuadernos de la Investigación Geográfica 2005 nº **31** pp. 77-95 ISSN 0211-6820. Universidad e la Rioja.
- Manso Orgaz, M.D. (1991) *Contribuição para o estudo hidrográfico da bacia do Douro*. Tese de Doutoramento em Física da Atmosfera. Universidade de Aveiro. 300 pp.
- Peterson, T. Easterling, DR. (1994). Creation of homogeneous composite climatological referencies series. *International Journal of Climatology* **14**: 671–679.
- Serrano, V. (2004) *Evolución espacio temporal de las sequías en el sector en el sector central del valle del Ebro*: Caudales y consecuencias ambientales. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza 1258 pp.
- Stanhill, G. and Möller, M. (2008) Evaporative climate change in the British Isles *Int. J. Climatol.* **28**: 1127–1137 On-Line: www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1619.